

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-220891

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月10日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 2 N 2/00

// A 6 1 B 19/00

識別記号

5 0 2

F I

H 0 2 N 2/00

A 6 1 B 19/00

C

5 0 2

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平10-74698

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月23日

(31) 優先権主張番号 特願平9-326383

(32) 優先日 平 9 (1997) 11月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子 3 丁目30番 2 号

(72) 発明者 前野 隆司

神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1 慶

應義塾大学内

(72) 発明者 竹村 研治郎

神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1 慶

應義塾大学内

(72) 発明者 奥村 一郎

東京都大田区下丸子 3 丁目30番 2 号 キヤ

ノン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 岸田 正行 (外 2 名)

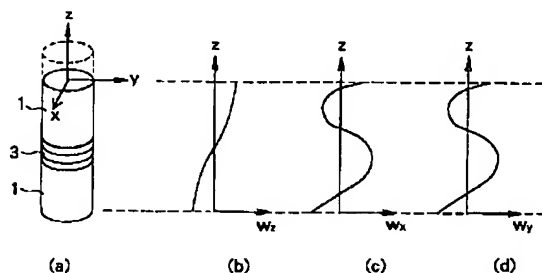
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動型アクチュエータおよび振動型駆動装置

(57) 【要約】

【課題】 単一の振動体で多自由度の駆動力を簡単な構成で得ることができる振動型アクチュエータを提供する。

【解決手段】 弾性体4に縦方向の振動および、位相の異なる複数の横方向の振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子3を設けた振動体を有し、前記縦方向の振動および前記複数の横方向の振動のうちの少なくとも2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に楕円運動を形成させる振動型アクチュエータであって、前記振動体に形成される前記縦方向振動および、振動方向の異なる複数の横方向の振動のうち励振する少なくとも2つの振動の位相差を調整することによって、前記振動体の振動角度を変化させて駆動に適当な駆動力を得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 弾性体に縦方向の振動および、位相の異なる複数の横方向の振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設けた振動体を有し、前記縦方向の振動および前記複数の横方向の振動のうちの少なくとも2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に円又は楕円運動を形成させる振動型アクチュエータであって、前記振動体に形成される前記縦方向振動および、振動方向の異なる複数の横方向の振動のうち励振する少なくとも1つの振動の位相差を調整することによって、前記振動体の振動角度を変化させて駆動に適当な駆動力を得ることを特徴とする振動型アクチュエータ。

【請求項2】 弾性体に縦方向の振動および、位相の異なる複数の横方向の振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設け、前記縦方向の振動および前記複数の横方向の振動のうちの少なくとも2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に円又は楕円運動を形成させる振動体と、前記振動体に接触し前記振動体と相対移動する接触体とを有する振動型アクチュエータであって、前記振動体の接触体と接触する接触面が軸線に対して斜めに形成され、振動方向の異なる複数の横方向の振動のうち励振する少なくとも1つの振動の位相差の調整を接触面の角度に合わせたことを特徴とする振動型アクチュエータ。

【請求項3】 少なくとも異なる3方向の振動変位を発生させる振動発生手段を形成した振動体を有し、前記3方向の振動変位を与えて前記振動体に合成振動としての円もしくは楕円運動を発生させ、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させた振動型アクチュエータであって、前記振動体に与えられる振動変位の位相差を調整することにより、前記振動体の振動角度を変化させたことを特徴とする振動型アクチュエータ。

【請求項4】 少なくとも異なる3方向の振動変位を発生させる振動発生手段を形成した振動体を有し、前記3方向の振動変位を与えて前記振動体に合成振動としての円もしくは楕円運動を発生させ、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させる振動型アクチュエータであって、前記振動体に与えられる振動変位の位相差を調整することにより、前記合成振動の円もしくは楕円運動の平面の方向を変化させたことを特徴とする振動型アクチュエータ。

【請求項5】 前記少なくとも3方向の振動変位の組み合わせの各成分比率を変えることにより、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させたことを特徴とする請求項3または4に記載の振動型アクチュエータ。

【請求項6】 前記位相差の調整を前記振動体の前記接触体との接触面の角度に合わせたことを特徴とする請求項3、4または5に記載の振動型アクチュエータ。

【請求項7】 弾性体に少なくとも異なる3方向の振動変位を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設けた振動体を有し、前記異なる3方向の振動変位のうち少なくとも2方向の振動変位を選択的に組み合わせた合成振動を発生させ、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させる振動型アクチュエータであって、前記電気-機械エネルギー変換素子は異なる方向への振動変位に対して兼用する分極領域を有すると共に、与える振動変位の位相差を変化させたことを特徴とする振動型アクチュエータ。

【請求項8】 前記振動体は、径方向外方に延びる支持用の複数の腕部を備えた支持体を有することを特徴とする請求項1ないし7のいずれか一つに記載の振動型アクチュエータ。

【請求項9】 請求項1ないし8のいずれか一つに記載の振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設けたことを特徴とする振動型駆動装置。

【請求項10】 前記アームの関節部に設けた振動型アクチュエータを遠隔操作により操作者の関節の動きに対応して動作させる遠隔操作手段を有することを特徴とする請求項9記載の振動型駆動装置。

【請求項11】 請求項1ないし8のいずれか一つに記載の振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設け、腹腔鏡下手術用あるいはマイクロサージャリ用として用いることを特徴とする振動型駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、振動型アクチュエータおよび振動型駆動装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】多軸周りの運動を生成する振動型アクチュエータとして、例えば精密工学会誌（Vol. 61, No. 3, pp. 1227-1230, 1995）、あるいは日経メカニカル（No. 5, pp. 26-27, 1997. 4. 28）に開示の球面振動型アクチュエータが提案されている。

【0003】この球面振動型アクチュエータは、球形形状に形成されたものを移動体とし、この球状の移動体（ロータ）を直交する3軸のうちの2軸あるいは3軸の回りに回転させるようにしたものであって、1軸回りについて回転力を振動（例えば進行波）により生成する振動体（ステータ）を前記移動体に加圧接触するように複数配置するように構成されている。

【0004】このような球面振動型アクチュエータとしては、現在は4個の振動体を用いた2自由度タイプと、3個の振動体を用いた3自由度タイプが開発されている。

【0005】また、球面振動型アクチュエータに用いられている前記振動体としては、例えばカメラのオートフ

オーカスレンズの駆動等に用いられているリング型振動型アクチュエータの振動体と同様のもので、図16にその外観形状を示す。この振動体19は、リング形状の弾性体19aの底面に圧電性セラミックスで形成された圧電素子19bを接着したもので、圧電素子19bには適当な位相差（半波長の奇数倍の位相差）で2相の駆動相が形成されていて、この両駆動相に適当な位相差（例えば90°）を有する交番信号を印加することで、弾性体19aに周方向に沿ってたわみ（曲げ）進行波が形成される。そして、この弾性体19aに不図示の接触体を不図示の加圧手段を介して接触させることで、前記接触体と前記振動体19は進行波の進行方向と逆方向を移動方向として相対移動する。なお、振動体19を固定とした場合、前記接触体は移動体として例えば回転する。

【0006】球面振動型アクチュエータ、例えば2自由度タイプの球面振動型アクチュエータは、図17に示すように、対向の一对の振動体19を球状の移動体2の周囲に2対配置することで、振動体19の中心を回転軸として2自由度の移動を実現している。

【0007】また、他の多軸周りの運動を生成する振動型アクチュエータとしては、Third International Conference on Motion and Vibration Control, Chiba, September, 1-6, 1996, pp. K9-K15に記載されている圧電マニピュレータが提案されている。その構成を図18に示す。

【0008】この圧電マニピュレータは、円筒状の弾性体と圧電素子で形成された振動体19と、振動体19の軸方向の端部に配置された半球状の移動体20a、20bから構成され、前記振動体19の周囲には分割された不図示の電極が形成されている。また、半球状の移動体20aと20bとは振動体19内に配置されたバネ21で互いに引き合うことで、振動体19の開口端に移動体20aと20bとがそれぞれ常に接するようにしている。

【0009】そして、振動体19に励起する振動を調整するように、分割された電極のそれぞれに適当な交流電圧を加えることによって、振動体19の開口端にそれぞれ接する2つの半球状の移動体20a、20bを1つの移動体19のみで駆動するようにしている。

【0010】この駆動原理は、半球状の移動体20a、20bと振動体19との接触点に楕円運動を生成するものであり、各電極に印加する交流電圧を変化させることで、複数面内の楕円運動が生成され、半球状の回転子を任意の方向に駆動できるようにしたものである。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図17に示す従来の球面振動型アクチュエータは、複数の振動体を用いているため、以下のような難点が指摘されている。

【0012】①：1つの軸周りの回転に対して、複数の振動体を用いるために、各振動体の特性を一致させる必要がある。

【0013】②：移動体の周囲に複数の振動体が存在するため、小型化が難しくスペース効率が悪い。

【0014】③：駆動に供しない他の軸回り用の振動体が移動体に圧接されているため、回転に対する抵抗となり、効率や発熱の問題がある。

【0015】また、図18に示す従来の筒状振動体の振動型アクチュエータについては、以下のような難点が指摘されている。

【0016】①：振動体の周面に設けられた複数の電極に駆動方向に合わせて交番信号を入力するため、入力する信号が各電極毎に異なるため、複雑な制御を要する。

【0017】②：円筒形状の振動体19に対して半球状の移動体20a、20bを振動体19内に配置されたバネ21を互いに引き合わせて圧接しているため、可動域が制限され、また圧接の加圧力が一定でなく、加圧力の調整を簡単にできない。

【0018】本出願に係る第1の発明の目的は、単一の振動体で多自由度の駆動力を簡単な構成で生成することができる振動型アクチュエータを提供しようとするものである。

【0019】本出願に係る第2の発明の目的は、簡単な構成で被駆動体を多自由度で駆動できる振動型駆動装置を提供しようとするものである。

【0020】

【課題を解決するための手段】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第1の構成は、弾性体に縦方向の振動および、位相の異なる複数の横方向の振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設けた振動体を有し、前記縦方向の振動および前記複数の横方向の振動のうちの少なくとも2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に円又は楕円運動を形成させる振動型アクチュエータであって、前記振動体に形成される前記縦方向振動および、振動方向の異なる複数の横方向の振動のうち励振する少なくとも1つの振動の位相差を調整することによって、前記振動体の振動角度を変化させて駆動に適当な駆動力を得るようにしたものである。

【0021】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第2の構成は、弾性体に縦方向の振動および、位相の異なる複数の横方向の振動を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設け、前記縦方向の振動および前記複数の横方向の振動のうちの少なくとも2つの振動を選択的に組み合わせ、前記弾性体の任意の平面内の点に円又は楕円運動を形成させる振動体と、前記振動体に接触し前記振動体と相対移動する接触体とを有する振動型アクチュエータであって、前記振動体の接触体と接触する接触面が軸線に対して斜めに形成さ

れ、振動方向の異なる複数の横方向の振動のうち励振する少なくとも1つの振動の位相差の調整を接触面の角度に合わせたものである。

【0022】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第3の構成は、少なくとも異なる3方向の振動変位を発生させる振動発生手段を形成した振動体を有し、前記3方向の振動変位を与えて前記振動体に合成振動としての円もしくは楕円運動を発生させ、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させた振動型アクチュエータであって、前記振動体に与えられる振動変位の位相差を調整することにより、前記振動体の振動角度を変化させたものである。

【0023】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第4の構成は、少なくとも異なる3方向の振動変位を発生させる振動発生手段を形成した振動体を有し、前記3方向の振動変位を与えて前記振動体に合成振動としての円もしくは楕円運動を発生させ、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させる振動型アクチュエータであって、前記振動体に与えられる振動変位の位相差を調整することにより、前記合成振動の円もしくは楕円運動の平面の方向を変化させたものである。

【0024】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第5の構成は、前記少なくとも3方向の振動変位の組み合わせの各成分比率を変えることにより、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させたものである。

【0025】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第6の構成は、前記位相差の調整を前記振動体の前記接触体との接触面の角度に合わせたものである。

【0026】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第7の構成は、弾性体に少なくとも異なる3方向の振動変位を励起する電気-機械エネルギー変換素子を設けた振動体を有し、前記異なる3方向の振動変位のうち少なくとも2方向の振動変位を選択的に組み合わせた合成振動を発生させ、前記振動体と前記振動体に接触する接触体とを任意の方向に相対移動させる振動型アクチュエータであって、前記電気-機械エネルギー変換素子は異なる方向への振動変位に対して兼用する分極領域を有すると共に、与える振動変位の位相差を変化させたものである。

【0027】本出願に係る第1の発明の目的を実現する振動型アクチュエータの第8の構成は、前記振動体は、径方向外方に延びる支持用の複数の腕部を備えた支持体を有するものである。

【0028】本出願に係る第2の発明の目的を実現する振動型駆動装置の第1の構成は、上記した振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設け

たものである。

【0029】本出願に係る第2の発明の目的を実現する振動型駆動装置の第2の構成は、前記アームの関節部に設けた振動型アクチュエータを遠隔操作により操作者の関節の動きに対応して動作させる遠隔操作手段を有するものである。

【0030】本出願に係る第2の発明の目的を実現する振動型駆動装置の第3の構成は、前記振動型アクチュエータを多自由度の運動を行うアームの関節部に設け、腹腔鏡下手術用あるいはマイクロサージェリ用として用いるものである。

【0031】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）図1は本発明の第1の実施の形態を示す。

【0032】図1は本実施の形態の振動型アクチュエータの駆動原理を示し、単一の振動体としての円柱形状の弾性体1間に、図1の(b)、(c)、(d)に夫々示す変位を与える電気-機械エネルギー変換素子としての圧電素子3が挟持固定されている。また、圧電素子としては、例えば単板の圧電素子板を複数枚重ね合わせ、必要に応じて圧電素子板の間に電極板を挟み込むようにして、必要とする圧電素子板に対して個々に駆動のための交番信号を印加できるようにしている。

【0033】本実施の形態において、圧電素子3は、交番信号の印加により軸方向に伸縮変位を繰り返す、図1の(b)に示すように、互いに直交するx、y、zの3軸の内、z軸方向の変位である縦振動を励起する第1の圧電素子と、図1の(c)に示すように、z-x平面内で横（曲げ）振動を励起する第2の圧電素子と、図1の(d)に示すように、z-y平面内で横（曲げ）振動を励起する第3の圧電素子を有している。上記の第1の圧電素子は、厚さ方向に一樣に分極されている。また、第2、第3の圧電素子は、直径を挟んだ両側の部分で、厚さ方向に互いに逆極性を持つように分極されている。

【0034】ここで、前記第2の圧電素子と前記第3の圧電素子に対して例えば位相が90°異なる交番信号を印加すると、振動体に対する2つの曲げ振動の合成で、振動体の表面上にはz軸回り（x-y平面内）の楕円運動が形成される。この場合、x軸とy軸についての振動体の固有振動数は略一致するため、この固有振動数を駆動周波数とする交番信号を前記第2の圧電素子と前記第3の圧電素子に印加すれば上記した楕円振動が生成されることになる。

【0035】次に、前記第1の圧電素子に前記振動体のz軸方向における固有振動数と略一致する周波数の交番信号を印加すると、前記振動体は一定の周期で1次モードで縦振動を繰り返すことになる。

【0036】その際、前記振動体が振動する縦振動の振動の1周期と一致（略一致）した1周期の振動で励振するように前記第2の圧電素子に交番信号を印加すると、

前記振動体の表面上の点には $x-z$ 平面内の楕円運動が生成され、 x 軸方向(y 軸回り)への駆動力が得られる。この場合、前記振動体の z 軸方向における固有振動数と $x-z$ 平面における曲げ振動の1次モードの固有振動数は異なるため、図1の(c)に示すように、本実施の形態では x 軸方向の曲げ振動に対する固有振動数の2次モードで前記第2の圧電素子を駆動し、縦振動の周期と曲げ振動の周期とを一致させるようにしている。

【0037】同様に、前記振動体が振動する縦振動の振動の1周期と一致(略一致)した1周期の振動で励振するように前記第3の圧電素子に交番信号を印加すると、前記振動体の表面上の点には $y-z$ 平面内の楕円運動が生成され、 y 軸方向(x 軸回り)への駆動力が得られる。この場合、前記振動体の z 軸方向における固有振動数と $y-z$ 平面における曲げ振動の固有振動数は異なるため、図1の(d)に示すように、本実施の形態では y 軸方向の曲げ振動に対する固有振動数の2次モードで前記第3の圧電素子を駆動することにより、縦振動の周期と曲げ振動の周期とを一致させるようにしている。

【0038】すなわち、振動体1の固有振動数に近い周波数の交番信号、例えば交流電圧を第1の圧電素子、第2の圧電素子および第3の圧電素子に印加することにより、振動体に図1の(b)、(c)、(d)のような固有振動の縦振動あるいは横(曲げ)振動が励振される。

【0039】そして、前記第1の圧電素子、第2の圧電素子及び第3の圧電素子の内のいずれか2つに選択的に交番信号を印加することにより、振動体1の縦振動と、互いに直交する方向の横(曲げ)振動の2つが組み合わせられて、振動体1の表面上の点に楕円運動が生成される。例えば、(b)と(c)の組み合わせによって $x-z$ 面内の楕円運動が生成される。あるいは(b)と(d)の組み合わせによって $y-z$ 平面内の楕円運動が、(c)と(d)の組み合わせによって $x-y$ 平面内の楕円運動が生成される。

【0040】従って、振動体のある一部に移動体を圧接すると、移動体を複数の方向に駆動することができる。

【0041】従来の圧電型アクチュエータの駆動原理は、振動体を構成する圧電素子の2相の駆動相に位相のずれた交番信号を印加することで弾性体の表面の点について1軸回りの楕円運動を形成するようにしていたが、本実施の形態では、3相の圧電素子(第1の圧電素子、第2の圧電素子、第3の圧電素子)を組み合わせることにより、3軸回り(直交する3平面内)の楕円運動を形成することが可能となり、単一の振動体で直交する3平面内についての駆動が可能となるという振動型アクチュエータの実現に加え、更に小型化を図ることができる。

【0042】(第2の実施の形態)図2は本発明の第2の実施の形態を示す。

【0043】上記した図1に示す第1の実施の形態は、振動型アクチュエータにおける振動体を円柱状としてい

るが、本実施の形態では、振動体を角柱状としたもので、角柱形状の弾性体1の側面に圧電素子3を接着剤により接着している。

【0044】本実施の形態では、例えば角柱形状の弾性体1の隣り合う2側面に横振動(曲げ振動)を形成する第2の圧電素子と第3の圧電素子を配置することで、第2の圧電素子と第3の圧電素子を丁度90度の位相差を有するように配置することができ、また縦振動を形成する第1の圧電素子を残った他の側面に接着剤により接着するようにしている。

【0045】本実施の形態の場合においても、第1の圧電素子、第2の圧電素子及び第3の圧電素子には第1の実施の形態と同様の交番信号が印加され、第1の圧電素子への交番信号の印加で図2の(b)に示すように振動体は縦振動し、第2の圧電素子への交番信号の印加で図2の(c)に示すように振動体は $x-z$ 平面内で曲げ振動し、第3の圧電素子への交番信号の印加で図2の(d)に示すように振動体は $y-z$ 平面内で曲げ振動する。

【0046】したがって、第1の実施の形態と同様に、これら3通りの振動の内の2つの組み合わせにより、互いに直交する3平面内での駆動力が得られることになる。

【0047】本実施の形態では、角柱状の側面に圧電素子を貼り付けることで振動体を得られるので、振動体の製作が容易で、しかも曲げ振動用の2つの圧電素子を隣り合う側面に貼り付けるだけで両圧電素子の位置(位相差)を規定することができる。

【0048】上記した第1の実施の形態及び第2の実施の形態においては、振動体を固定とすれば、前記振動体の駆動面に加圧接触する接触部材(図中破線に示す)を移動体として直交3軸方向へ駆動力を与えることができ、逆に前記接触体を固定とすれば、前記振動体に前記接触体に対して直交する3軸方向へ駆動力を与えることができる。

【0049】(第3の実施の形態)図3は本発明の第3の実施の形態を示す。

【0050】本実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体の基本的な構成は、図1に示す第1の実施の形態と同様であって、内径部にめねじ部が形成された頭部弾性体4と、中心部に穴が形成された中間弾性体5aと後部弾性体5bの間にそれぞれ圧電素子を配置し、後部弾性体5b側から挿入した中心軸部材をなす締結ボルト6を頭部弾性体4のめねじ部に螺着することにより、頭部弾性体4と中間弾性体5aとの間、中間弾性体5aと後部弾性体5bとの間にそれぞれ圧電素子3を挟持して一体的に連結されて形成されている。

【0051】本実施の形態において、頭部弾性体4と中間弾性体5aとの間に配置される圧電素子3は、振動体に縦振動を励起する第1の圧電素子であり、また中間弾

性体5aと後部弾性体5bとの間に配置される圧電素子3は、 $x-z$ 平面内での曲げ振動を形成する第2の圧電素子と、 $y-z$ 平面内での曲げ振動を形成する第3の圧電素子と、前記第2の圧電素子と前記第3の圧電素子は位置的に 90° の位相差を有して配置されている。

【0052】また、頭部弾性体4の先端部は、球体形状の移動体2と接触する軸線に対して斜めの内周面がテーパ面に形成されている。

【0053】したがって、本実施の形態においても、上記した第1の実施の形態と同様に、振動体に形成される縦振動、2方向の曲げ振動のうち、2つの振動を組み合わせることによって、球体形状の移動体2を x 軸、 y 軸、 z 軸周りにそれぞれ回転させることができる。

【0054】例えば、図1の(c)と(d)の組み合わせによって z 軸周りに、(b)と(c)の組み合わせによって y 軸周りに、(b)と(d)の組み合わせによって x 軸周りに移動体2を回転させることができ、移動体2は、互いに直交する3軸周りに回転できる。

【0055】(第4の実施の形態)図4は本発明の第4の実施の形態を示す。

【0056】本実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体の基本的構成は図3に示す第3の実施の形態と同様で、頭部4aに形成される直交3平面内の楕円運動で駆動される移動体2を平板状としている点が第3の実施の形態と異なる。

【0057】本実施の形態では、頭部弾性体4の頭部4aに移動体2を圧接することで、移動体2は x 軸方向、 y 軸方向および z 軸周りに運動する。例えば、第1の圧電素子を駆動して形成される z 方向の縦振動と、第2の圧電素子を駆動して形成される $x-z$ 平面内の横振動とを約 90° 位相差を有して励起すると、振動体の頭部4aには $x-z$ 面内の楕円運動が生じ、頭部4aに接触した移動体2は x 軸方向に直進運動する。

【0058】また、 z 方向の縦振動と $y-z$ 平面内の横振動を位相を約 90° 遅えて励起すると、頭部4aの端部の点には $y-z$ 面内の楕円運動が生じ、頭部4aに接触した移動体2は y 軸方向に直進運動する。

【0059】さらに、 $x-z$ 平面内の横振動と $y-z$ 平面内の横振動を約 90° の位相差を有して励起すると、頭部4aには xy 面内の楕円運動が生じ、頭部4aに接触した移動体2は z 軸周りに回転する。

【0060】(第5の実施の形態)図5は本発明の第5の実施の形態を示す。

【0061】本実施の形態は図3に示す第3の実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体に対して球体形状の移動体2を永久磁石7の磁力により吸引加圧するようにしたもので、頭部弾性体4の先端凹部4b内に永久磁石7を設けるようにしている。

【0062】(第6の実施の形態)図6は第6の実施の

形態を示す。

【0063】本実施の形態は図3に示す第3の実施の形態の振動型アクチュエータにおける振動体に対して球体形状の移動体2を電磁石の磁力により吸引加圧するようにしたもので、頭部弾性体4の外周部に設けた凹溝4c内にコイル8を配置し、コイル8に通電することにより電磁石を構成し、この磁力によって移動体2を頭部弾性体4に吸引加圧する。コイル8は振動体の周囲に配置された支持部材30に取り付けられ、また振動体から延びる支持板9の外端部が支持部材30に取り付けられている。

【0064】なお、コイル8は磁気回路を構成可能であれば、振動体の周囲のいかなる場所に配置されていてもよい。

【0065】(第7の実施の形態)図7は本発明の第7の実施の形態を示す。

【0066】本実施の形態は、図3に示す第3の実施の形態における振動型アクチュエータの振動体に対する球体形状の移動体2の接触性の改善を図るもので、頭部弾性体4の先端凹部4b内に、移動体2の接触部近傍に配した弾性材料で形成された当接体10を配置し、移動体2と頭部弾性体4の接触領域の増加を図っている。

【0067】このため、振動体に対する移動体2の接触が安定し、出力トルクが増し、また、部品加工時の加工誤差の許容範囲を広げることができる。

【0068】なお、本実施の形態では、図5に示す第5の実施の形態と同様に、頭部弾性体4の先端凹部4b内に永久磁石7を設け、球体形状の移動体2を永久磁石7の磁力により吸引加圧するようにしている。

【0069】(第8の実施の形態)図8は本発明の第8の実施の形態を示す。

【0070】本実施の形態は、第7の実施の形態と同様に、図3に示す第3の実施の形態における振動型アクチュエータの振動体に対する球体形状の移動体2の接触性の改善を図るもので、振動体における頭部弾性体4の先端凹部4bをばね性を有する筒状のつば部11により形成している。

【0071】本実施の形態では、不図示の加圧手段により移動体2がばね性を有するつば部11によってある程度の弾性力をもって接触するので、移動体2の球面に対するつば部11の接触面積が増大し、移動体2の接触性が安定することとなり、出力トルクが増し、また部品加工時の加工誤差の許容範囲を広げることができる。

【0072】なお、本実施の形態では、図5に示す第5の実施の形態と同様に、頭部弾性体4の先端凹部4b内に永久磁石7を設け、球体形状の移動体2を永久磁石7の磁力により吸引加圧するようにしている。

【0073】(第9の実施の形態)図9、図10、図11は本発明の第9の実施の形態を示す。

【0074】本実施の形態は、円柱形状の振動体の具体

的構成を示し、頭部弾性体4の後に第1弾性体5cを直接配置し、第1弾性体5cと第2弾性体5dとの間に縦振動を励起するための圧電素子板3a、3bと、振動検出のための圧電素子板3cと、中央部9aが電極板として圧電素子板3aに接触する機能を兼用する支持板9と、電極板12z、12sz、13とが配置される。また第2弾性体5dと第3弾性体5eとの間に、横振動（曲げ振動）を励起する圧電素子板3e、3fと3g、3h、振動検出のための圧電素子板3dと3i、電極板12SA、12A、12SB、12B、13とシート14が配置される。そして、頭部弾性体4の内径部のめねじ部に締結ボルト6の先端ねじ部が螺合することにより、頭部弾性体4、第1弾性体5c、第2弾性体5d、第3弾性体5e、圧電素子板3a～3i、電極板12、13およびシート14が図示の配列で一体的に挟持され、振動体を構成している。なお、電極板13はグランド電極である。

【0075】ここで、支持板9は中央の電極板部9aから径方向に延出した腕部が、図11に示す固定部30に固定されることにより振動体を支持するようにしている。なお、振動体自体の固有振動に影響を与えないのであれば、支持板9は板以外の形状でもよい。勿論電極板を兼用するものでなくてもよい。

【0076】さらに、圧電素子板3d、3e、3fと、圧電素子板3g、3h、3iとは左右が逆極性を有するように分極されていて、曲げ方向に90°の位相差を有して配置されている。なお、シート14は絶縁性を有し、シート14の両側に配置される第2弾性体5dと電極板12、あるいは第3弾性体5eと電極板12が電気的に独立となるようにしている。

【0077】このように構成された振動体に対し、後述の図19に示す駆動回路より、例えば、圧電素子板3a、3bが挟む電極板12（12Z）に振動体の固有振動数に近い周波数の交流電圧を入力すると、これらの圧電素子板3a、3bが厚さ方向に伸びと縮みを繰り返して、振動体に縦振動を励振する。また、圧電素子板3cは、圧電素子板3a、3bにより励振された縦振動によって歪み、起電力を発生する。この際、圧電素子板3cに接する電極板12（12SZ）から取り出される交流電圧は、振動検出用として用いられる。

【0078】圧電素子板3e、3fが挟む電極板12（12A）に振動体の固有振動数に近い周波数の交流電圧を入力すると、これらの圧電素子板3e、3fが直径部分を挟んだ両側の部分が厚さ方向に伸びと縮みを交互に繰り返して、振動体に横振動を励振する。

【0079】また、圧電素子板3dは、圧電素子板3e、3fにより励振された振動体の横振動によって歪み、起電力を発生する。この際、圧電素子板3dに接する電極板12（12SA）から取り出される交流電圧は、振動検出用として用いられる。圧電素子板3d、3

eと位置的に90°の位相差を有して配置されている圧電素子板3g、3hが挟む電極板12（12B）に振動体の固有振動数に近い周波数の交流電圧を入力すると、これらの圧電素子板3g、3hが直径部分を挟んだ両側の部分が厚さ方向に伸びと縮みを繰り返して、振動体に横縦振動（曲げ振動）を励振する。また、圧電素子板3iは、圧電素子板3g、3hにより励振された振動体の横振動（曲げ振動）によって歪み、起電力を発生する。この際、圧電素子板3iに接する電極板12（12SB）から取り出される交流電圧は、振動検出用として用いられる。

【0080】また、縦振動を励振する圧電素子板3a～3cの位置は、縦振動1次モードの節となる位置である。さらに、横振動を励振する圧電素子板3d～3iの位置は、横振動2次モードの腹となる位置である。

【0081】一方、頭部弾性体4の外周部に形成されたくびれ部（凹部）4cにより、固有振動の振幅が拡大し、固有振動数を低く抑えることができる。また、振動体の中心軸6に施されたくびれ部（凹部）6aにより、主に縦振動の固有振動数を低く抑えることができる。

【0082】図19は上記した振動体を駆動制御する駆動回路を示すブロック図である。101はシステム全体をコントロールするCPUで、102は発振器、103は移相器、104は選択切り替えスイッチである。105は駆動波形を作る出力回路で、図20に示す回路により構成されている。出力回路105Z、105A、105Bはそれぞれ電極板12Z、12A、12Bと接続され、圧電素子3aと3b、3eと3f、3gと3hに交流電圧（交番信号）を印加する。これらの圧電素子は、Z軸方向の縦振動、Z-X平面内の横（曲げ）振動、Z-Y平面内の横（曲げ）振動をそれぞれ励振する。

【0083】選択切り替えスイッチ104はCPU101からの指令に基づいて、Z、A、Bの3つの出力から2つを選択し、発振器102および移相器103からの2つの信号を出力する。これにより、3軸の回転のうち1軸を選択することができることになる。

【0084】107はパルス幅を制御するパルス幅制御回路で、圧電素子に印加される交流電圧の振幅を制御することができる。パルス幅により印加電圧をそれぞれ個別独立に変えることで楕円軌跡の縦横比（長軸と短軸の比）を変えることができる。発振器102の発信周波数を振動体の固有振動数に近づけたり、遠ざけたりして振動体の振幅を変え、楕円軌跡の大きさを変えることができる。

【0085】圧電素子板3c、3d、3iで発生するZ軸方向の縦振動、Z-X平面内の横（曲げ振動）、Z-Y平面内の横（曲げ）振動、それぞれの振動振幅に応じた電圧は電極板12SZ、12SA、12SBを通じて検出回路106からそれぞれの振幅、位相の情報がCPUに入力される。

【0086】これらの情報に基づき、パルス幅制御回路107、移相器103、発振器102をCP101でコントロールすることで、楕円軌跡を任意の形状に制御することができる。

【0087】このような制御を行うことにより、以下のことが可能となる。

【0088】1：振動体の送り方向速度分布が変わるので、移動体の速度を変えることができる。

【0089】2：摩擦力分布が変わるので、最も摺動損の少ない楕円軌跡をつくることができる。例えば楕円軌跡の傾きについては、移動体の球面に対して楕円の軸が直交するように制御すれば良い。具体的には、図3に示した弾性体4の内周面（軸線に対して斜めに形成されている）の放線方向に楕円軌跡を発生させて、効率向上を図ることができる。

【0090】あるいは、不図示の回転検出計と電力計の信号をフィードバックして、最も効率の楕円軌跡の状態を駆動することもできる。

【0091】3：振動体と移動体との当たり方（法線方向の変位と速度）も変わるので、最も衝撃の少ない接触の仕方、あるいは鳴き等の異常なノイズを発生しない楕円軌跡とすることもできる。

【0092】（第10の実施の形態）図12は本発明の第10の実施の形態を示す。

【0093】本実施の形態は、例えば図9に示す支持板9を有する振動体を、例えば任意の方向に移動可能な支持台15を介して支持するようにしてものである。支持台15は円筒形状であり、ロボットアーム等に取り付けられることにより、多自由度振動型アクチュエータを多自由度運動できる関節として利用できる。

【0094】（第11の実施の形態）図13は本発明の第11の実施の形態を示す。

【0095】本実施の形態は、前述した各実施の形態及び後述する図21～27も含めた各実施の形態の振動型アクチュエータ40を直列に2つ接続したものを操作腕として左右に設け、制御システム41を介して操作用グローブ16により遠隔操作するようにしたもので、人の関節の角変位を読み取れるようになっている操作用グローブ16と制御システム41の組み合わせでアクチュエータを駆動する遠隔操作システムは公知なので、ここではこれらの構成の説明については省略する。

【0096】本実施の形態の操作腕は、手元側の振動型アクチュエータ40の移動体42として球体形状のものを使用して、先端側の振動型アクチュエータ40の後端部に取り付け、この先端側の振動型アクチュエータ40の移動体43として操作指部分を有する棒状（振動体の頭部弾性体部分との接触部は球面）のものを使用しており、移動体42、43はヒトの関節と対応した位置に取り付けられ、人の運動に対応した遠隔操作機械（ロボット）を実現できる。なお、遠隔操作機械とは、ヒトの動

きに対応して動作する機械である。

【0097】このような遠隔操作機械は、腹腔鏡下手術やマイクロサージェリーに用いることもできる。腹腔鏡下手術とは患者の体を切開することなく、体内に挿入された内視鏡と鉗子によって行われる手術である。

【0098】本実施の形態をこれに使用することにより、人の手を入れることのできない患者の腹部の内部で、人の手の複雑な動きを実現できるので、これまでの腹腔鏡下手術よりも緻密な手術を行うことができる。なお、マイクロサージェリーとは、微細な生体組織に対して行う、細かい操作を伴う手術であり、現在は顕微鏡下で直接人の手によって行われている。遠隔操作機械を用いて術者側のスケールと機械側のスケールを調節することで、人の手のスケールでは困難である細かい操作を容易に行うことができる。

【0099】（第12の実施の形態）図14は第12の実施の形態を示す。

【0100】本実施の形態は、前述した各実施の形態及び後述する図21～27も含めた各実施の形態の振動型アクチュエータ（多自由度振動型アクチュエータ）50をシャーシ17に複数取り付け、また移動体として球体を用いることにより、X-Y平面内を任意に移動できるようにしたもので、並進および回転をすることができるようにしている。なお、図14では、多自由度振動型アクチュエータ50の移動体2が不図示の床と接触するようにしているが、逆に高所等に配置したレールの下面に接触させ、懸垂型の移動機構とすることもできる。

【0101】（第13の実施の形態）図15は本発明の第13の実施の形態を示す。

【0102】本実施の形態は、前述した各実施の形態及び後述する図21～27も含めた各実施の形態の振動型アクチュエータ（多自由度振動型アクチュエータ）60の球体形状の移動体2内にカメラ18を配置し、監視カメラやコンピュータへの入力用の撮影装置としたものである。

【0103】〔第14の実施の形態〕図21は本実施の形態の振動型アクチュエータの構造及び駆動原理を示している。単一の振動体100としての円柱形状の弾性体101、102の間に、図21（b）に示すように4分割に分極された電気-機械エネルギー変換素子としての圧電素子103（同じ位相で4分割に分極された複数枚の圧電素子板が積層されてブロック化されている）が挟持固定されている。この圧電素子103には各分極領域ごとに独立に駆動のための交番信号（電圧）を印加できるようにになっている。なお、振動体100の移動体102との接触部（駆動部）となる内周面100aは軸線に対して斜めに形成され、球状の移動体102が若干内部に入り込むようにしている。

【0104】圧電素子103の各分極領域A～Dは同極性に分極されており、振動体100をZ軸方向に変位さ

せるためには、

$$V_A = V_B = V_C = V_D = \sin \omega t$$

$$V_A = V_C = \sin \omega t, \text{ 又は } V_B = V_D = \sin \omega t$$

の交番信号を供給する。

【0105】一方、振動体100をX軸方向（Z-X平面内で曲げ振動）に変位させるためには、

$$V_A = \sin \omega t, V_C = -\sin \omega t$$

もしくは

$$V_A = \cos \omega t, V_C = -\cos \omega t$$

の交番信号を供給する。

【0106】更に、振動体100をY軸方向（Z-Y平面内で曲げ振動）に変位させるためには、

$$V_B = \sin \omega t, V_D = -\sin \omega t$$

もしくは

$$V_B = \cos \omega t, V_D = -\cos \omega t$$

の交番信号を供給する。

【0107】それによって、図21(a)に示したように、Z軸方向、X軸方向、Y軸方向の変位となる。なお、Z軸方向の振動を1次モードとし、X軸方向及びY軸方向の振動を2次モードとすることにより、各軸方向の振動を共振させている。

【0108】なお、周溝を形成することにより剛性を小さくした第1の部分101aは、X軸方向及びY軸方向の振動での節の位置として、曲げ（屈曲）の変位拡大としての役目を果たす。

【0109】また、周溝を形成することにより剛性を小さくした第2の部分101bは、Z軸方向の振動での節の位置として、縦の変位拡大としての役目を果たす。

【0110】図21の実施の形態は、前述した第1～第13の実施の形態のように、縦振動専用の電気-機械エネルギー変換素子を必要とせず、基本的には複数の分極領域へ選択的に交番信号を供給することによって、3軸方向への振動体100の変位を可能としている。

【0111】次に球状の移動体102を各軸回りに回転させるための交番信号の供給について説明する。

【0112】X軸回りに移動体102を回転させる場合には、Z軸方向の変位とY軸方向の変位を、例えば90°の位相差をもって与える。

【0113】すなわち

$$V_A = V_B = V_C = V_D = \sin \omega t \text{ (Z軸方向変位)}$$

と、

$$V_B = \cos \omega t, V_D = -\cos \omega t \text{ (Y軸方向変位)}$$

の交番信号を各対応する分極領域A～Dに供給する。

【0114】すなわち、次式のようになる。

【0115】

$$V_A = \sin \omega t$$

$$V_B = \sin \omega t + \cos \omega t = \sqrt{2} \sin (\omega t + \pi/4)$$

$$V_C = \sin \omega t$$

$$V_D = \sin \omega t - \cos \omega t = \sqrt{2} \sin (\omega t - \pi/4)$$

又、Y軸回りに移動体102を回転させる場合には、Z

軸方向の変位とX軸方向の変位を、例えば90°の位相差をもって与える。

【0116】

$$V_A = V_B = V_C = V_D = \sin \omega t \text{ (Z軸方向変位)}$$

$$V_A = \sin \omega t, V_C = -\sin \omega t \text{ (X軸方向変位)}$$

すなわち、次式のようになる。

【0117】

$$V_A = \sqrt{2} \sin (\omega t + \pi/4)$$

$$V_B = \sin \omega t$$

$$V_C = \sqrt{2} \sin (\omega t - \pi/4)$$

$$V_D = \sin \omega t$$

により、(Z軸方向変位+X軸方向変位)の交番信号を各対応する分極領域A～Dに供給する。

【0118】更に、Z軸回りに移動体102を回転させる場合には、X軸方向の変位とY軸方向の変位を、例えば90°位相差をもって与える。

【0119】すなわち、

$$V_A = \sin \omega t$$

$$V_B = \cos \omega t$$

$$V_C = -\sin \omega t$$

$$V_D = -\cos \omega t$$

により、(X軸方向変位+Y軸方向変位)の交番信号を各対応する分極領域A～Dに供給する。

【0120】なお、Z軸方向の変位を実現する際に、圧電素子103の分極領域A及びCのみを用いた場合には、次のように各分極領域への交番信号の供給は変わることになる。

【0121】すなわち、X軸回りの回転の際には

$$V_A = V_C = \sin \omega t$$

$$V_B = \cos \omega t$$

$$V_D = -\cos \omega t$$

となり、Y軸回りの回転の際には

$$V_A = \cos \omega t$$

$$V_B = \sin \omega t$$

$$V_C = -\cos \omega t$$

$$V_D = \sin \omega t$$

となり、Z軸回りの回転の際には

$$V_A = \sin \omega t$$

$$V_B = \cos \omega t$$

$$V_C = -\sin \omega t$$

$$V_D = -\cos \omega t$$

となる。

【0122】なお、位相差を90°とせずに変えることにより、楕円運動の形状が変化し、移動体102と振動体100の駆動部との当接角度に合わせた高トルクでの駆動を可能とする。

【0123】[第15の実施の形態] 図22は本実施の形態の振動型アクチュエータの構造及び変位の形態を示している。

【0124】この実施の形態は単一の振動体200とし

て、円柱形状の弾性体201と円板状の弾性体202とを接合させたものである。弾性体201は実際には2分割されて間に、2枚の電気-機械エネルギー変換素子としての圧電素子203、204を挟持している。又、円板状の弾性体202には表面に4つの電気-機械エネルギー変換素子としての圧電素子205a~205dが設けられている。

【0125】圧電素子203は駆動部となる弾性体201を図22(c)に示すようにX軸方向に変位させるためのものであり、図10での圧電素子3e、3fと同じ役目を果たす。又、圧電素子204は弾性体201をY軸方向に変位させるためのものであり、図10での圧電素子3g、3hと同じ役目を果たす。なお、圧電素子203と204とは分極位相を90°ずらしている。

【0126】一方、圧電素子205a~dは全て同特性に分極されており、円板状の弾性体202を図22(d)に示すように屈曲させることにより、駆動部となる弾性体201をZ軸方向に変位させるものである。

【0127】駆動部となる弾性体201には球状の移動体206が第14の実施の形態と同様に当接しており、圧電素子204と圧電素子205a~dに交番信号を例えば90°位相をずらして供給することにより、X軸回りに移動体206を回転させることができる。又、圧電素子203と圧電素子205a~dに交番信号を例えば90°位相をずらして供給することにより、Y軸回りに移動体206を回転させることができる。

【0128】一方、Z軸回りに移動体206を回転させる場合には、圧電素子203と204に交番信号を例えば90°位相をずらして供給することになる。

【0129】なお、移動体206を重力方向に関係なく、常に弾性体201に圧接させるためには、図23にて示したように弾性体201の内部に永久磁石210を設け、更に移動体206自体を磁性材によって形成するやり方がある。この構造によって、移動体206は磁石の吸着力によって重力方向にかかわらず、常に振動体200と圧接することができる。

【0130】なお、位相差を90°としないで任意の位相差を設定し、楕円運動の形状を変えることも効果がある。

【0131】[第16の実施の形態]図24は本実施の形態の振動型アクチュエータの構造及び変位の形態を示している。

【0132】この実施の形態は単一の振動体300として、円柱形状の弾性体301と円板状の弾性体302とを接合させたものである。弾性体301の内部には永久磁石(不図示)が組込まれており、磁性体で形成された移動体306を常時、磁力により吸着して圧接力を得るようにしている。

【0133】弾性体302には、表面に4つの電気-機械エネルギー変換素子としての圧電素子(分極領域)3

03a~dが設けられている。圧電素子303a~dは選択的に交番信号が供給されることにより、図24(b)~(d)に示したように、駆動部としての弾性体301をX軸方向に変位させ、Y軸方向に変位させ、もしくはZ軸方向に変位させることができる。

【0134】そして、移動体306をX軸回りに回転させる際には、Y軸方向の変位(図24(c))とZ軸方向に変位(図24(d))を、例えば90°位相差をもうけて与えればよく、Y軸回りの際にはX軸方向の変位(図24(b))とZ軸方向の変位(図24(d))を、例えば90°の位相差を設けて与える。更に、Z軸回りに回転させたい際には、X軸方向に変位(図24(b))とY軸方向の変位(図24(c))を、例えば90°の位相差を設けて与える。なお、位相差を90°とせずに任意に設定して、楕円運動の形状を変えることも効果がある。

【0135】各圧電素子303a~dへの交番信号の供給については、上述の第14実施の形態の場合と同じであり、詳しい説明は省略する。

【0136】[第17の実施の形態]図25は本実施の形態の振動型アクチュエータの構造を示すもので、単一の振動体400として円柱形状の複数の弾性体401、402、403を形成し、弾性体401と402の間に圧電素子404を挟持し、弾性体402と403の間に圧電素子405を挟持している。3つの弾性部材401~403は締結部材としてのボルト407によって締結されている。なお、406は球状の移動体である。

【0137】本実施の形態では、振動体400と移動体406との圧接を、エアによる吸引によって行うようにしたことを特徴としている。すなわち、ホース408を振動体400の駆動部近傍の凹部401aに挿入し、このホース408によってエアを吸引することにより、駆動部近傍に吸着力を発生させ、移動体406を重力方向にかかわらず常に振動体400と圧接させることができる。

【0138】なお、410はケースであって、弾性体401と402の間に挟持された支持部材411の外端部が固定されることにより、振動体400を支持している。

【0139】[第18の実施の形態]図26(a)に示した本実施の形態は第17実施の形態の変形例を示すもので、移動体406を振動体400の駆動部に圧接させる他の構造を示している。

【0140】具体的にはケース410の上部には、ドーム状の上カバー412が軸受としてのボール413によりケース410に対して回転自在に設けられている。上カバー412には4ヵ所で、コイルバネ414によって移動体406を振動体400の方向に付勢する押し付け部材415が移動自在に設けられている。この押し付け部材415の付勢力により、移動体406は振動体40

0に重力方向にかかわらず圧接できることになる。振動体400自体は支持部材411によりケース410に支持されている。

【0141】なお、移動体406には実際の駆動部としての突部406aが上カバー412より突出形成されており、移動体406をどの方向にも回転できるように、上カバー406には図26(b)に示すように十字状の切欠き412aが形成されている。

【0142】移動体406の突部406aは切欠き412a内に挿入されており、且つ上ケース412自体をケース410に対して回転自在としていることから、突部406aのような方向に回転(揺動)したとしても、上カバー412を回転させてどれかの切欠き412a内に入り込み、制限を受けることがないようにしている。

【0143】[第19の実施の形態]図27(a)に示した本実施の形態は第18実施の形態の変形例を示すもので、上カバー420はボール413によってケース410に対して回転自在に支持されているが、皿バネ422をボール413の軸受部に追加している。この皿バネ422は実際にはボール押え部材423を間に入れて設けられ、上ケース420自体をケース410に対して図において下方向となる、移動体406と振動体400との圧接方向に付勢する役目を果たす。

【0144】上ケース420の内側には3ヵ所に固定の押し付け部材424が形成されており、押し付け部材424によって移動体406は振動体に対して圧接されることになる。

【0145】上ケース420には図27(b)に示すように略Y字状の切欠き420aが形成されている。この切欠き420aの役目は、上述した図26(b)での切欠き412aと同じである。なお、図27(c)には外観図を示した。

【0146】図26、27に示した上カバー412、420を設けた実施の形態では、移動体406が実質上カバーされ、触れられることによる油やゴミ等による摩擦係数の変化を防止することができる。

【0147】[第20の実施の形態]本実施の形態は移動体をどのような任意な角度にも回転できるようにしたものである。図29の破線はX-Z平面内でX軸からZ軸方向に θ_1 傾いた軸を示し、図29の実線はX-Y平面内でX軸からY軸方向に θ_2 傾いた軸回りの回転を示している。

【0148】そして、基準となる各X軸、Y軸、Z軸に対して異なる軸方向に θ_1 、 θ_2 傾いた軸回りの回転を実現できるようにすれば、それ以外でも任意の方向の軸回りの回転が実現できるようになる。

【0149】具体例として、X軸を基準として、異なる方向に θ_1 、 θ_2 傾むけた軸回りの回転を実現するやり方について説明する。

【0150】図28に示すように、X-Z平面内でX軸

から θ_1 傾いた軸回りの回転は、

$$\omega \theta_1 = A \omega x + B \omega z$$

ただし $B/A = \tan \theta_1$ として定義できる($|\omega x| = |\omega z|$ である)。

【0151】図29に示すようにX-Y平面内でX軸から θ_2 傾いた軸回りの回転は、

$$\omega \theta_2 = C \omega x + D \omega y$$

ただし $D/C = \tan \theta_2$ として定義できる($|\omega x| = |\omega y|$ である)。

【0152】更に、 θ_1 及び θ_2 傾いた軸回りの回転は、

$$\omega(\theta_1 + \theta_2) = \omega \theta_1 + \omega \theta_2 = A \omega x + B \omega y + C \omega z$$

ただし、 $B/A = \tan \theta_2$ 、 $C/A = \tan \theta_1$ として定義できる。

【0153】最初に位相差を 90° とした場合で説明する。

【0154】振動型アクチュエータとしては図1~10のタイプを用い、図10に示した各電極板12A、12B、12Zへどのような交番信号を供給することにより、任意の角度の回転軸による駆動を可能とするかを説明する。

【0155】X軸回りの回転 ωx は

$$V_{12Z} = \sin \omega t \text{ (Z方向)}$$

$$V_{12B} = \cos \omega t \text{ (Y方向)}$$

で行える。

【0156】Y軸回りの回転 ωy は

$$V_{12Z} = \sin \omega t \text{ (Z方向)}$$

$$V_{12A} = \cos \omega t \text{ (X方向)}$$

で行える。

【0157】そして、Z軸回りの回転 ωz は

$$V_{12A} = \sin \omega t \text{ (X方向)}$$

$$V_{12B} = \cos \omega t \text{ (Y方向)}$$

で行える。

【0158】次に、X-Z平面内でX軸から θ_1 傾いた軸回りの回転は、

$$V_{12A} = B \sin \omega t$$

$$V_{12B} = A \cos \omega t + B \cos \omega t = (A+B) \cos \omega t$$

$$V_{12Z} = A \sin \omega t$$

ただし、 $B/A = \tan \theta_1$ となる。

【0159】X-Y平面内でX軸から θ_2 傾いた軸回りの回転は、

$$V_{12A} = D \cos \omega t$$

$$V_{12B} = C \cos \omega t$$

$$V_{12Z} = C \sin \omega t + D \sin \omega t = (C+D) \sin \omega t$$

ただし、 $D/C = \tan \theta_2$ となる。

【0160】そして、 θ_1 及び θ_2 を合わせた軸回りの回転は、

$$V_{12A} = B \cos \omega t + C \sin \omega t = \sqrt{(B^2 + C^2)} \sin(\omega t + \alpha)$$

$V_{12B} = A \cos \omega t + C \cos \omega t = (A+C) \cos \omega t$
 $V_{12Z} = A \sin \omega t + B \sin \omega t = (A+B) \sin \omega t$
 ただし、 $B/A = \tan \theta_2$ 、 $B/C = \tan \alpha$ 、 $C/A = \tan \theta_1$ とする。

【0161】次に、図21、24に示した振動型アクチュエータを用いた場合について説明する。ただし、以下の説明は各圧電素子の領域A～Dに対してどのような交番信号を供給するかについて述べる。

【0162】 $V_A \sim V_D$ とは図21(b)では各分極領域A～Dに対応し、図24(a)では各圧電素子303a～303dに対応する。

【0163】X-Z平面内でX軸より θ_1 傾いた軸回りの回転は、

$$\begin{aligned} V_A &= A \sin \omega t + B \sin \omega t = (A+B) \sin \omega t \\ V_B &= A \cos \omega t + B \cos \omega t = (A+B) \cos \omega t \\ V_C &= A \sin \omega t - B \sin \omega t = (A-B) \sin \omega t \\ V_D &= -A \cos \omega t - B \cos \omega t = -(A+B) \cos \omega t \end{aligned}$$

ただし、 $B/A = \tan \theta_1$ となる。

【0164】X-Y平面内でX軸から θ_2 傾いた軸回りの回転は、

$$\begin{aligned} V_A &= C \sin \omega t + D \cos \omega t = \sqrt{C^2 + D^2} \sin(\omega t + \theta_2) \\ V_B &= C \cos \omega t - D \sin \omega t = \sqrt{C^2 + D^2} \cos(\omega t + \theta_2) \\ V_C &= C \sin \omega t - D \cos \omega t = -\sqrt{C^2 + D^2} \sin(-\omega t + \theta_2) \\ V_D &= -C \cos \omega t + D \sin \omega t = -\sqrt{C^2 + D^2} \cos(\omega t + \theta_2) \end{aligned}$$

ただし、 $D/C = \tan \theta_2$ となる。

【0165】そして、 θ_1 及び θ_2 を合わせた軸回りの回転は、

$$\begin{aligned} V_A &= A \sin \omega t + B \cos \omega t + C \sin \omega t \\ &= (A+C) \sin \omega t + B \cos \omega t \\ &= \sqrt{(A+C)^2 + B^2} \sin(\omega t + \alpha) \\ V_B &= A \cos \omega t + B \sin \omega t + C \cos \omega t \\ &= (A+C) \cos \omega t + B \sin \omega t \\ &= \sqrt{(A+C)^2 + B^2} \cos(-\omega t + \alpha) \\ V_C &= A \sin \omega t - B \cos \omega t - C \sin \omega t \\ &= (A-C) \sin \omega t - B \cos \omega t \\ &= -\sqrt{(A-C)^2 + B^2} \sin(-\omega t + \beta) \\ V_D &= -A \cos \omega t + B \sin \omega t - C \cos \omega t \\ &= -(A+C) \cos \omega t + B \sin \omega t \\ &= -\sqrt{(A+C)^2 + B^2} \cos(\omega t + \alpha) \end{aligned}$$

ただし、 $B/A = \tan \theta^2$ 、 $C/A = \tan \theta_1$ 、 $\tan \alpha = B/A+C$ 、 $\tan \beta = B/(A-C)$ となる。

【0166】図30は上記した図21、24の振動体を駆動制御する駆動回路を示すブロック図である。

【0167】101はシステム全体をコントロールするCPUで、102は発振器、103A、103Bは位相

器、104は選択切り替えスイッチである。

【0168】105Z、105A、105Bは駆動波形を作る出力回路で、出力回路105Z、105A、105Bはそれぞれ分極領域303a～dと接続され、交流電圧(交番信号)を印加する。これらの圧電素子は、Z軸方向の振動、X軸方向の振動、Y軸方向の振動をそれぞれ励振する。

【0169】発振器102の発振周波数を振動体の固有振動数に近づけたり、遠ざけたりして振動体の振幅を変えることができる。

【0170】107はパルス幅を制御するパルス幅制御回路で、圧電素子に印加される交流電圧の振幅を制御することができる。パルス幅の制御により印加電圧をそれぞれ個別独立に変えること、振動振幅もそれぞれ個別独立に変えることができる。

【0171】位相器103A、103Bは、発振器102の出力信号の位相を変えることができる。

【0172】第20の実施の形態に示した前述の式に従った、印加電圧、位相差をもった3つの印加電圧をそれぞれの圧電素子に与えることにより、任意の角度の軸まわりの回転を駆動できる。

【0173】圧電素子103(303)で発生するZ軸方向の振動、X軸方向の振動、Y軸方向の振動、それぞれの振動振幅に応じた電圧は検出信号12SZ、12SA、12SBを通じて検出回路106からそれぞれの振幅、位相の情報がCPU101に入力される。

【0174】これらの情報に基づき、パルス幅制御回路107、位相器103A、位相器103B、発振器102をCPU101でコントロールし、各振動が所定の振幅、位相差であるように調整される。

【0175】また、回転検出計108の信号をフィードバックしており、より精度の高い回転軸及び回転数の制御が可能となる。

【0176】さらに、検出回路からの情報に基づき、パルス幅制御回路107、位相器103A、位相器103B等をコントロールすることで、振動の楕円軌跡の形状を任意に制御することができる。

【0177】このような制御を行うことにより、以下のことが可能となる。

【0178】1：振動体の送り方向速度分布が変わるので、移動体の速度を変えることができる。

【0179】2：摩擦力分布が変わるので、最も摺動損の少ない楕円軌跡をつくることができる。例えば楕円軌跡の傾きについては、移動体の球面に対して楕円の軸が直交するように制御すれば良い。具体的には、図21に示した弾性体100の内周面100a(軸線に対して斜めに形成されている)の放線方向に楕円軌跡を発生させて、効率向上を図ることができる。

【0180】あるいは、不図示の回転検出計と電力計の信号をフィードバックして、最も効率の良い楕円軌跡の

状態で駆動することもできる。

【0181】3：振動体と移動体との当たり方（法線方向の変位と速度）も変わるので、最も衝撃の少ない接触の仕方、あるいは鳴き等の異常なノイズを発生しない楕円軌跡とすることもできる。

【0182】以上説明した第14の実施の形態～第20の実施の形態の振動型アクチュエータを、図13、図14、図15に示す振動型アクチュエータに代えることができることは言うまでもない。

【0183】また、図21の(b)に示すように、圧電素子のx軸、y軸を分極領域の中央に設定しているが、これに限定されるものではない。

【0184】さらに、移動体に対して振動体を移動させるようにしても良い。

【0185】

【発明の効果】請求項1～請求項7に係る発明によれば、接触体を多自由度運動させることができる。

【0186】単一振動体であるので省スペースを実現でき、その際、駆動面の角度に応じて利用する3種の振動の少なくとも1つの振動の位相差を調整することによって、振動体の振動角度を変化させることができ、接触体の駆動に適切な楕円運動を振動体上に生成できる。

【0187】請求項8に係る発明によれば、振動体の縦振動1次モードと横振動2次モードに影響を与えずに、多自由度振動型アクチュエータを支持することができる。

【0188】請求項9～11に係る発明によれば、多自由度振動型アクチュエータ用いた小型の振動型駆動装置が実現でき、医療用機械等の人間の手の届きにくい小さな場所での精密な作業が行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図、(b)は振動体の縦振動の1次モード、(c)、(d)は横振動の2次モードを示す。

【図2】本発明の第2の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図、(b)は振動体の縦振動の1次モード、(c)、(d)は横振動の2次モードを示す。

【図3】本発明の第3の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図4】本発明の第4の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図5】本発明の第5の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図6】本発明の第6の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図7】本発明の第7の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図8】本発明の第8の実施の形態を示す振動型アクチュエータの断面図。

【図9】本発明の第9の実施の形態を示す振動型アクチ

ュエータの外観斜視図。

【図10】図9の振動体の分解斜視図。

【図11】(a)、(b)は図9の振動体を支持した状態を示す側面図と上面図。

【図12】本発明の第10の実施の形態を示す側面図。

【図13】本発明の第11の実施の形態を示す概略図。

【図14】本発明の第12の実施の形態を示す側面図。

【図15】本発明の第13の実施の形態を示す外観斜視図。

【図16】リング状振動体の斜視図。

【図17】従来の球面振動型アクチュエータの斜視図。

【図18】従来の振動型アクチュエータの断面図。

【図19】第9の実施の形態の駆動回路図。

【図20】図19の出力回路の回路図。

【図21】第14の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図とそれぞれの方向における振動変位、(b)は圧電素子の平面図。

【図22】第15の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図、(b)は圧電素子の配置方向と分極方向を示す図、(c)、(d)は振動体の変位を示す図。

【図23】図22の振動体と接触体との吸引保持手段を示す図。

【図24】第16の実施の形態を示し、(a)は振動体の外観斜視図、(b)、(c)、(d)は振動体の変位を示す図。

【図25】第17の実施の形態を示す振動型アクチュエータの縦断面図。

【図26】第18の実施の形態の振動型アクチュエータを示し、(a)は(b)のA-A'矢視縦断面図、(b)は(a)の上面図。

【図27】第19の実施の形態の振動型アクチュエータを示し、(a)は(b)のB-B'矢視縦断面図、(b)は(a)の上面図、(c)は側面図。

【図28】第20の実施の形態の原理を説明するためのベクトル線図。

【図29】第20の実施の形態の原理を説明するためのベクトル線図。

【図30】第20の実施の形態の駆動回路のブロック図。

【符号の説明】

1、101、102、201、202、301、30

2、401～403 弾性体

2、102、206、306、406 移動体

3、103、203、204、404、405 圧電素子

3a、3b 縦振動用圧電素子

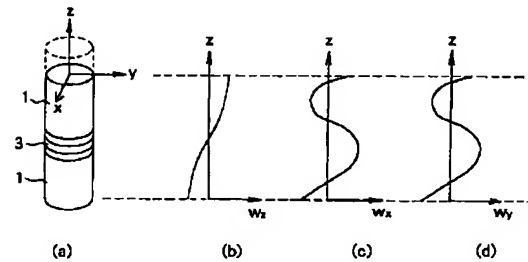
3c 縦振動検出用圧電素子 3e～3h 横振動用圧電素子

3d、3i 横振動検出用圧電素子

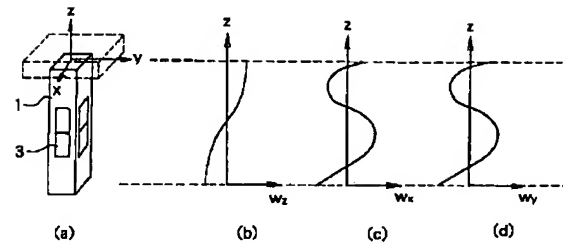
303a～303d 圧電素子

4 頭部弾性体	4 a 頭部先端	14 シート	15 支持台
凹部		16 グローブ	17 シャーシ
4 b 凹溝	4 c くびれ	18 カメラ	19 振動体
(凹部)		19 a 弾性体	19 b 圧電素子
5 a 中間弾性体	5 b 後部弾性体	20 a, 20 b 移動体	21 バネ
5 c 第1弾性体	5 d 第2弾性体	30 任意支持台	40, 50, 60 振動体
5 e 第3弾性体		41 制御システム	42, 43 移動体
6、407 締結ボルト	6 a 締結シャフト凹部	408 ホース	410 ケース
7 永久磁石	8 コイル	411 支持部材	412 上カバー
9 支持板	9 a 中央部	413 ボール	414 コイル
10 当接体	11 つば部	415 押し付け部材	
12 電極板	13 グランド		

【図1】



【図2】



【図3】

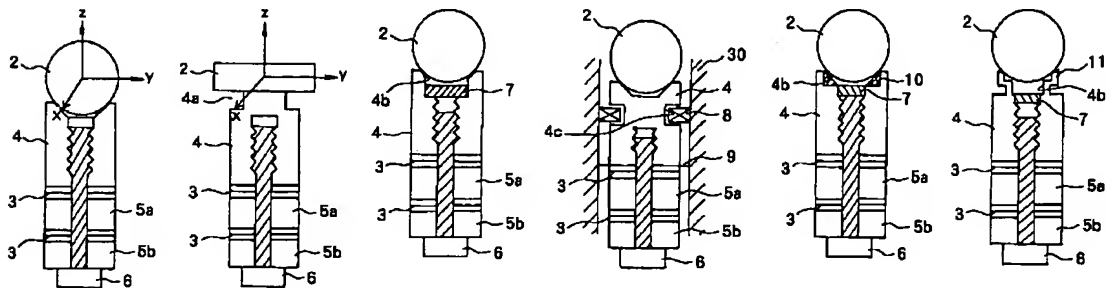
【図4】

【図5】

【図6】

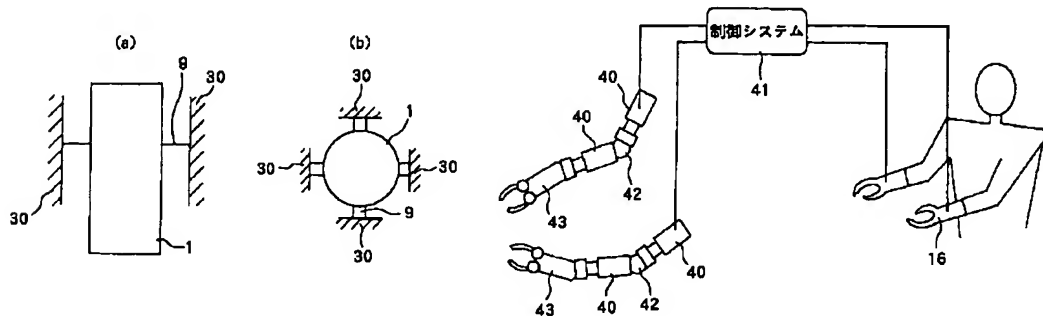
【図7】

【図8】

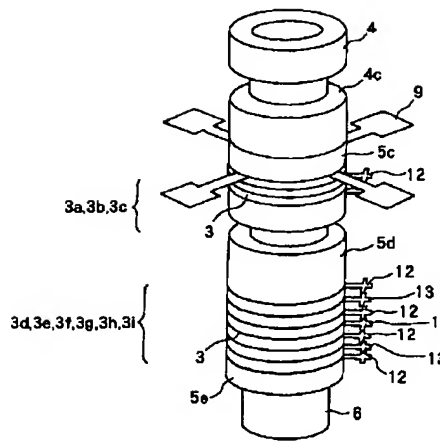


【図13】

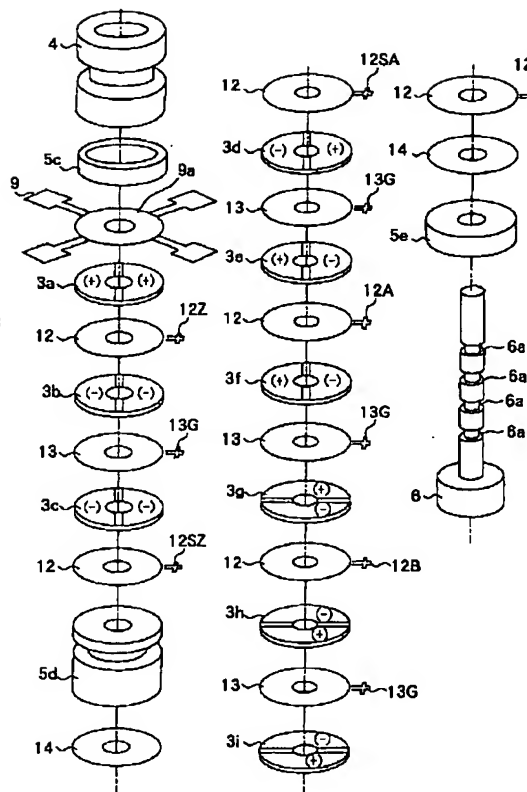
【図11】



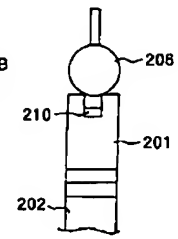
【図9】



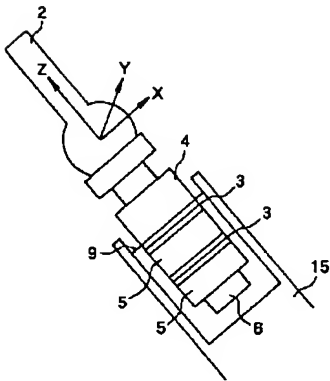
【図10】



【図23】

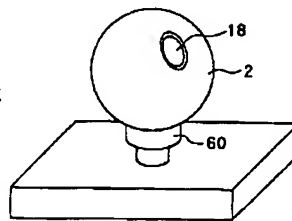
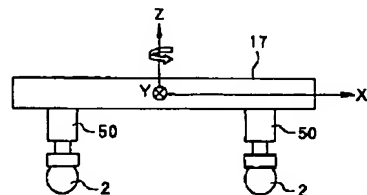


【図12】

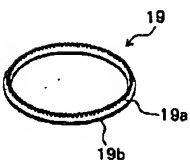


【図14】

【図15】



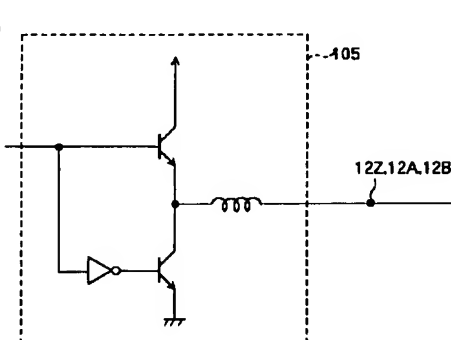
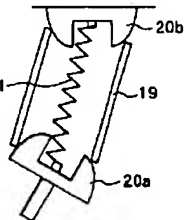
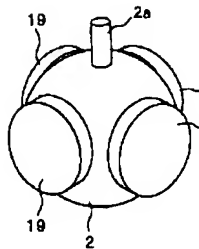
【図16】



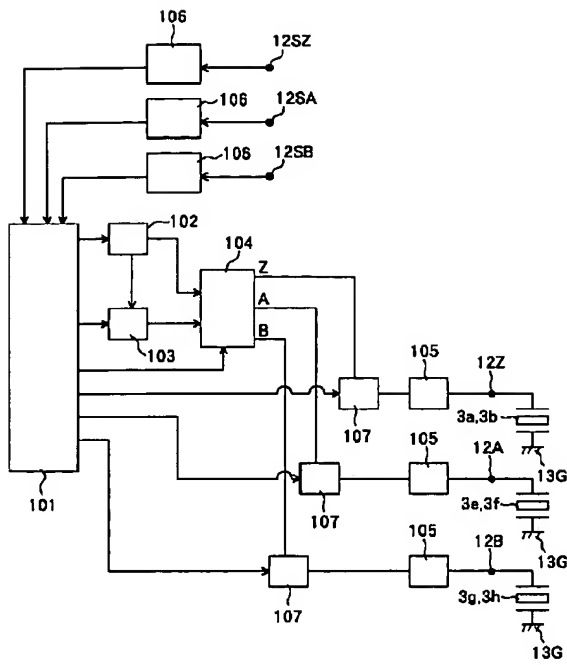
【図17】

【図18】

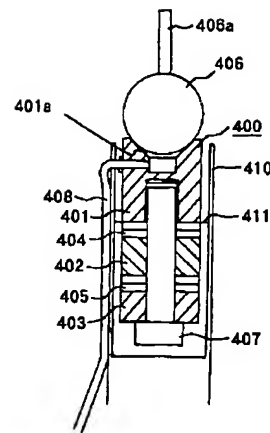
【図20】



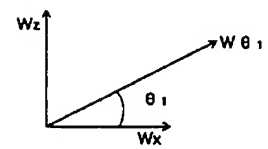
【図19】



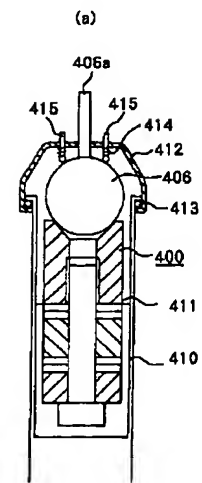
【図25】



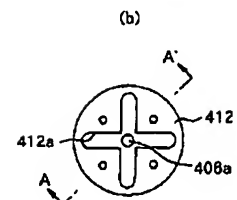
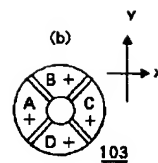
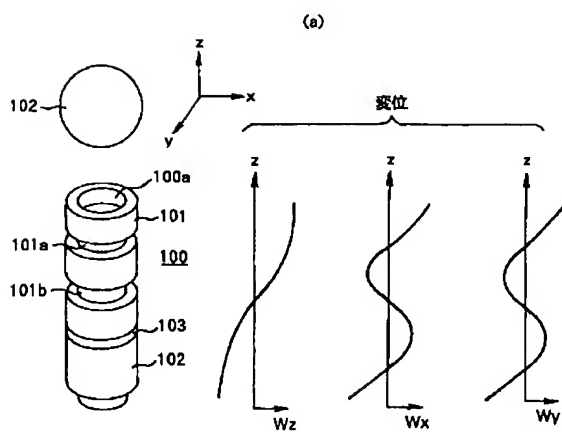
【図28】



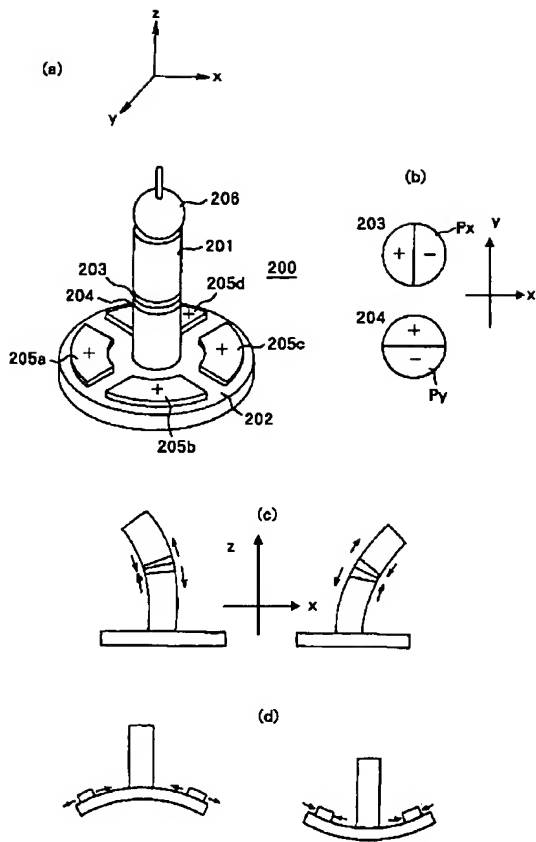
【図26】



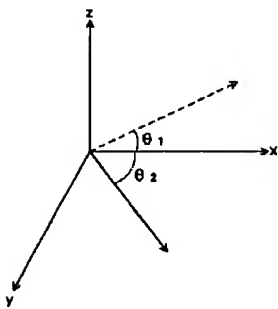
【図21】



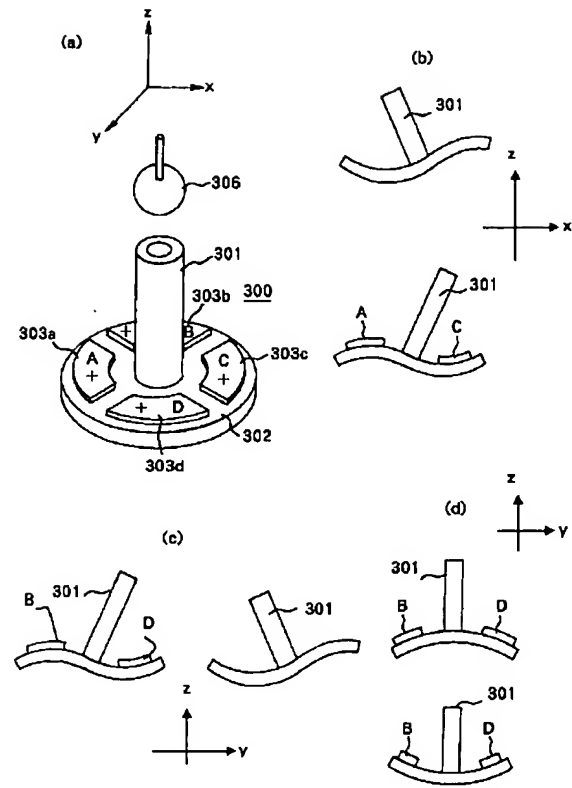
【図22】



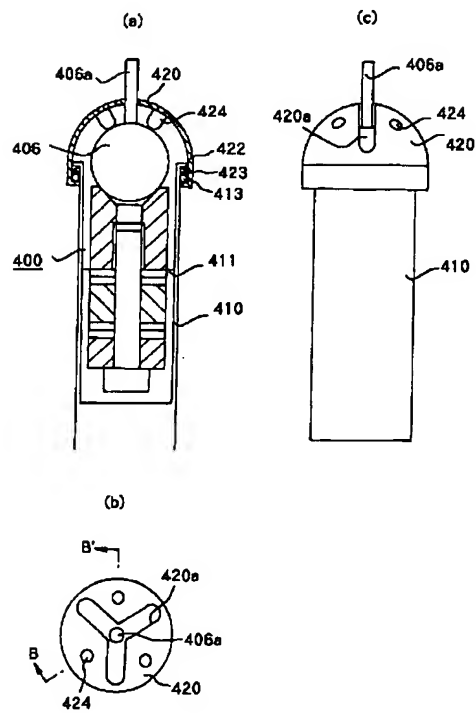
【図29】



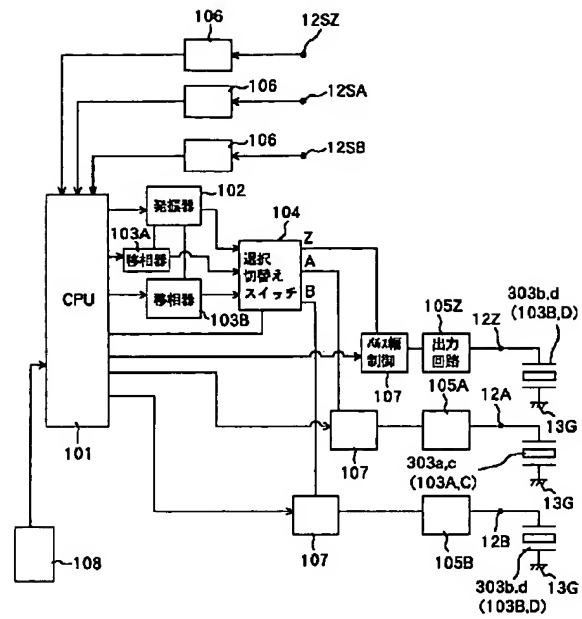
【図24】



【図27】



【図30】



フロントページの続き

(72)発明者 小島 信行
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内